

## Cambios en el sotobosque asociados al reemplazo de la vegetación natural por *Pinus ponderosa* Dougl. con diferentes manejos (SO de Neuquén, Argentina)

F. Candan, P. Broquen\* y V. Pellegrini

Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional del Comahue. Ruta Nac. 151 km 12,5  
(8303) Cinco Saltos. Río Negro. Argentina

---

### Resumen

Se estudió la influencia de diferentes intensidades de manejo sobre el sotobosque de plantaciones de pino ponderosa en parcelas distribuidas en una transecta O-E. Cinco bajo bosque de *Nothofagus* y diez bajo pino —cinco con 90-100% de cobertura y cinco con una reducción al 60-70%— y otras dos bajo estepa y sus equivalentes bajo pinos sin raleo y raleado. Se calculó el índice de diversidad de Shannon, y se caracterizó y comparó el suelo superficial. Bajo pino la diversidad fue menor que bajo vegetación natural —*Nothofagus* y estepa— lo que junto con el menor contenido de carbono del suelo evidenciaron la alteración del ecosistema. La diversidad bajo pino raleado respecto al no raleado fue mayor y dominada por especies herbáceas exóticas y arbustos nativos, reflejándose en la estructura del suelo superficial, que tendió a granular como bajo vegetación natural, mostrando su capacidad de resiliencia. El raleo favoreció el desarrollo del sotobosque bajo pino ponderosa, tendiendo a la restauración de la biodiversidad, lo que se debería a la mayor radiación recibida. De la composición del sotobosque y su efecto sobre los primeros centímetros del suelo, se podrían derivar estrategias de manejo apuntando a lograr la diversificación de los sistemas productivos.

**Palabras clave:** diversidad del sotobosque, raleo, Andinopatagonia, Andisoles, *Nothofagus sp.*, estepa, forestaciones.

### Abstract

**Understory changes associated with the replacement of natural vegetation by *Pinus ponderosa* Dougl. under different plantation management (SW Neuquén, Argentina)**

Influence of different plantation management intensity on understory vegetation of Ponderosa pine plantation was studied in plots distributed through a W-E transverse. Five under *Nothofagus* forest and ten under Ponderosa pine plantation —five with 90-100% soil cover and five with an overstory reduction to 60-70%—; and other two under steppe vegetation and their equivalents under non-thinned and thinned pine plantations. Shannon diversity index was calculated, and topsoil was characterized and compared. Under pines diversity was lower than under natural vegetation —*Nothofagus* and steppe— which together with the lower carbon content showed the ecosystem alteration. Diversity was higher under thinned plantations and dominated by non-native herbal species and native shrubs, this was reflected on top soil structure which tended to be granular as under native vegetation, showing its resilience capacity. Overstory reduction promoted shrub and herbal understory development in Ponderosa pine plantation, showing a tendency to biodiversity restoration, probably due to the higher radiation which reaches the soil. From the information gathered on the species composition of the understory vegetation and its consequences on top soil properties, strategies for the effective management can be derived to enhance productivity diversification.

**Key words:** understory diversity, thinning, Andinopatagonia, Andisols, *Nothofagus sp.*, steppe, afforestation.

---

\* Autor para la correspondencia: pbroquen@yahoo.com

Recibido: 26-07-04; Aceptado: 07-12-05.

## Introducción

En la región Andinopatagónica el bosque mixto de *Nothofagus* se encuentra emplazado sobre suelos derivados de cenizas volcánicas, apareciendo hacia la zona ecotonal la formación de estepa. Los suelos derivados de cenizas volcánicas abarcan en la provincia del Neuquén el 17% de la superficie y presentan un elevado potencial forestal debido a sus propiedades particulares —alto contenido de materia orgánica, baja densidad aparente, alta retención hídrica y alta permeabilidad (Colmet Daa-ge *et al.*, 1988; Ferrer *et al.*, 1990)—. Dado el alto potencial forestal, la vegetación natural ha sido en parte reemplazada por forestaciones comerciales realizadas con coníferas exóticas, principalmente *Pinus ponderosa* Dougl., destinadas a la producción maderera.

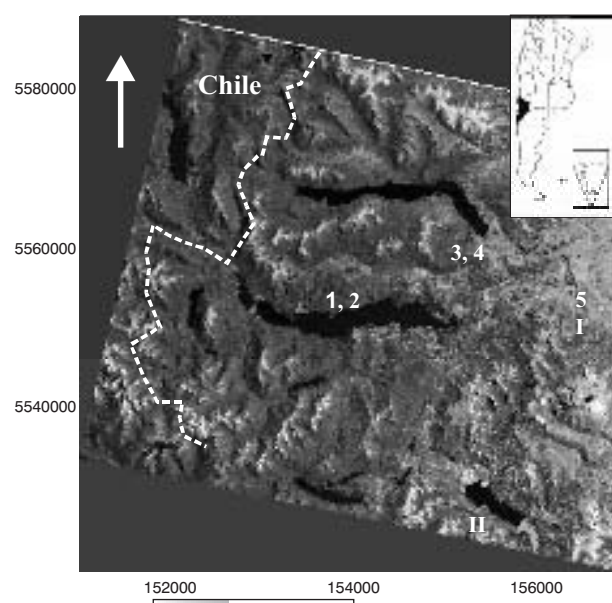
Existen evidencias de la existencia de relaciones entre las características del dosel del bosque y las características del sotobosque, tales como riqueza de especies y densidad o cobertura del suelo. Estudios realizados por Lemenih *et al.* (2004) en el sur de Etiopía y por Conticello *et al.* (1996) en el NO de la Patagonia Argentina, mostraron que la cobertura, riqueza y diversidad de especies tendieron a disminuir a medida que la cubierta de copas fue más cerrada, lo que afectó principalmente la cantidad y duración de la radiación a nivel del piso forestal. Los bosques más abiertos presentaron mayor diversidad de especies en los estratos arbustivo y herbáceo, mientras que los bosques más húmedos y más cerrados presentaron una menor estratificación del sotobosque (Armesto *et al.*, 1995; Conticello *et al.*, 1996). El mismo efecto se observó con la corta de individuos que produjo claros donde ocurrió la colonización del suelo por la vegetación, determinando el aumento de la diversidad florística como consecuencia del incremento de radiación (Schlichter *et al.*, 2004; Lemenih *et al.*, 2004). También se han observado relaciones similares en bosques implantados, donde la densidad del rodal mostró gran importancia incidiendo en la presencia y composición del sotobosque. Wienk *et al.* (2004) encontraron en bosques implantados de pinos disminuciones en la diversidad del sotobosque llegando a ser reemplazado por un grueso manto de agujas de pino. Por otra parte, los autores encontraron que el talado del bosque implantado también puede generar un incremento en la riqueza y cobertura de las especies del sotobosque. Cain y Shelton (2001) y Fernández *et al.* (2002), mostraron que la perturbación que implicó el raleo produjo un incremento en la diversidad de la

comunidad del sotobosque al modificarse los factores ambientales respecto a la condición previa. Tales relaciones son dinámicas ya que el sotobosque desaparece y reaparece con las periódicas prácticas silvícolas —podas, raleos, talas— que permiten o no la entrada de luz y agua hasta el piso forestal.

Las condiciones actuales de las forestaciones en la región Andinopatagónica —edad y competencia— determinaron el inicio de actividades silvícolas tales como poda y raleo, apuntando a extraer madera comercialmente útil y a disminuir la competencia intraespecífica del rodal. Esto permitió la evaluación de la colonización por especies de la vegetación natural de los suelos bajo forestaciones de pinos con diferentes coberturas producto de las actividades de raleo. El objetivo de la presente investigación fue obtener primeros indicadores de la biodiversidad bajo forestaciones de pino luego de un raleo.

## Material y Métodos

El estudio se localizó en la Andinopatagonia Argentina, en el sudoeste de la provincia del Neuquén, región Andina, subregión Húmeda montañosa, circunscribiéndose a la biosecuencia bosque muy húmedo a húmedo (Fig. 1). A grandes rasgos la zona se caracteriza por la



**Figura 1.** Área de estudio en el SO de la provincia del Neuquén y ubicación de los sitios -transecta: 1-5, casos: I y II. Imagen Landsat TM 7, 5, 6.

presencia del Cordón Chapelco de la Cordillera de los Andes con una altitud de 2.000 m, descendiendo paulatinamente hacia el este hasta los 600 m.

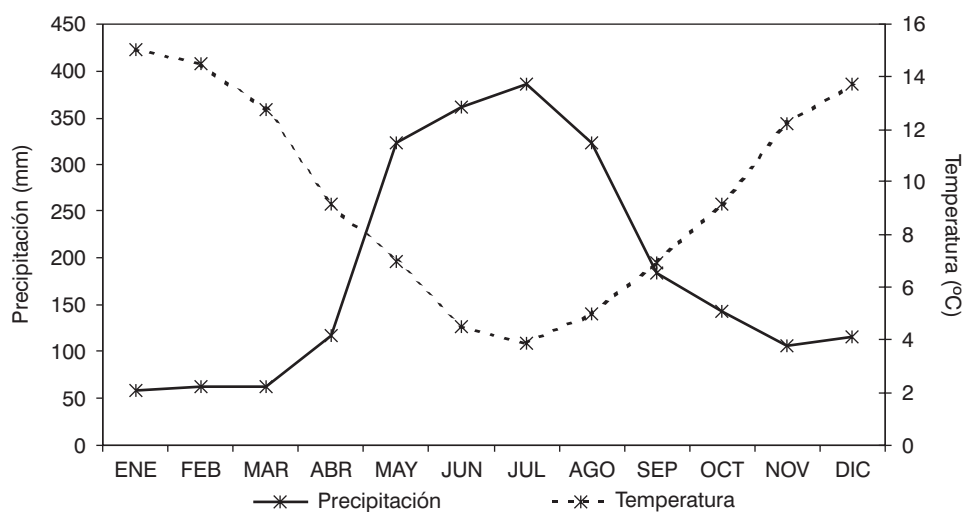
Geológicamente la región se encuentra modelada por los glaciares y fue posteriormente recubierta por un manto de cenizas volcánicas cuyo origen fue la actividad de diferentes volcanes ubicados del lado chileno de la cordillera. Las cenizas volcánicas tuvieron una gran dispersión en la Patagonia por acción de los vientos dominantes y conjuntamente con el clima son las que le dan a la zona sus principales características en cuanto al tipo de suelos y de vegetación (Colmet Daage *et al.*, 1988; Ferrer *et al.*, 1990). Las cenizas volcánicas evolucionaron a Andisoles, reflejando en sus propiedades una mayor influencia del material de origen y el régimen hídrico del suelo —údic— que del tipo de vegetación (Colmet Daage *et al.*, 1988; Broquen *et al.*, 2005). Los vientos dominantes con dirección oeste-este vienen cargados con la humedad del océano Pacífico y se van tornando más secos a medida que se alejan de la Cordillera. El clima de la zona es templado húmedo, con una temperatura media anual de  $< 8$  a  $10^{\circ}\text{C}$ . Las precipitaciones presentan un gradiente longitudinal de oeste a este pasando de 3.000 a 1.000 mm en poco más de 50 km de distancia horizontal hacia el este y se concentran en el periodo otoño-invierno (Fig. 2).

La vegetación dominante en la biosecuencia bosque muy húmedo a húmedo, corresponde al bosque mixto de *Nothofagus*, el que pasa gradualmente hacia el este a

estar formado por bosquetes dominados por *Nothofagus antarctica* acompañados por vegetación de estepa (Movia *et al.*, 1982). Para determinar los límites de la biosecuencia bosque muy húmedo a húmedo se utilizaron los criterios planteados por Colmet Daage *et al.* (1988), Broquen *et al.* (2000), Broquen *et al.* (2005), considerando los cambios que ocurren a nivel del suelo producto del pasaje del régimen údic a un dominio del régimen xérico, asociado a su vez al cambio de vegetación —bosque mixto de *Nothofagus* a vegetación de estepa—.

El diseño experimental comprendió dos aspectos diferentes: I) el gradiente detectado dentro de la biosecuencia bosque muy húmedo a húmedo (Broquen *et al.*, 2005) donde la formación vegetal con mayor extensión areal correspondió al bosque mixto de *Nothofagus* y II) las situaciones puntuales donde la vegetación natural correspondió a la formación de estepa.

En relación con el aspecto I) se seleccionó una transecta con dirección aproximada oeste-este abarcando la climosecuencia característica de la biosecuencia bosque muy húmedo a húmedo. Dentro de ésta, el estudio se restringió al bosque mixto de *Nothofagus* y a suelos derivados de cenizas volcánicas por ser éstos los suelos asociados al bosque de *Nothofagus* (Movia *et al.*, 1982; Colmet Daage *et al.*, 1988). Los límites de la transecta fueron la Estancia Quechuquina ( $40^{\circ}09'$  LS,  $71^{\circ}35'$  LO) y la vertiente oeste de la loma atravesada de Taylor ( $40^{\circ}05'$  LS,  $71^{\circ}12'$  LO), acorde a los criterios anterior-



**Figura 2.** Precipitación media mensual y temperatura media mensual para el periodo 1960-1980.  
Fuente: Estación Meteorológica Estancia Quechuquina ( $40^{\circ}09'$  LS,  $71^{\circ}35'$  LO).

mente mencionados (Colmet Daage *et al.*, 1988; Broquen *et al.*, 2002; Broquen *et al.*, 2005). El diseño abarcó cinco sitios con tres tratamientos bajo equivalentes condiciones de sitio —igual rango de altitud, posición, orientación y gradiente de la pendiente—. Los tratamientos fueron: i) bosque mixto de *Nothofagus* (VN), ii) forestaciones con *Pinus ponderosa* Dougl. sin raleo (PP) y iii) forestaciones con *Pinus ponderosa* Dougl. raleadas (PPR). Las forestaciones utilizadas como unidades experimentales correspondieron en todos los casos a plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. establecidas con fines comerciales y el número de parcelas estuvo condicionado a las situaciones que cumplieran con los requisitos establecidos en cuanto a equivalencia de las condiciones de sitio. La comparación entre las diferentes situaciones planteadas se realizó a través del análisis de varianza con el programa Statistica (Statsoft, 1995).

Respecto al aspecto II) dentro de la misma transecta se seleccionaron dos situaciones donde la vegetación natural fuese la estepa y permitiera la caracterización de la vegetación y el suelo en equivalentes condiciones de sitio bajo vegetación de estepa (VNe) y bajo forestaciones colindantes de *Pinus ponderosa* Dougl. —sin raleo (PP) y raleadas (PPR)—.

### Caracterización de la vegetación

Para caracterizar la vegetación natural, tanto para las parcelas de la transecta como para los estudios de caso, se realizó a campo un análisis florístico y fisionómico. En cada parcela se realizó un muestreo por triplicado, aplicando el criterio de área mínima según Braun Blanquet (1950). Se corroboró el área mínima de 100 m<sup>2</sup> utilizada para la región (Schlichter *et al.*, 1980; Conticello *et al.*, 1996) considerando un área de partida de 25 m<sup>2</sup>, la que se duplicó sucesivamente hasta que no aparecieran especies nuevas. Se determinaron las especies y estratos presentes y se estimó la cobertura total, por estrato y por especie. En las parcelas con PP y PPR se caracterizó la vegetación utilizando la misma metodología que para VN.

Como procedimiento para estimar la diversidad de especies de la comunidad se calculó el índice de diversidad de Shannon (H), comprendiendo la riqueza (S) —número de especies en la comunidad— y la equitatividad (J) —abundancia relativa de especies—, siendo  $H: -\sigma (p_i \cdot \ln p_i)$  donde  $p_i$ : proporción de la especie  $i$ ,  $J: H/H_{\max}$ ,  $H_{\max}: \ln S$  (Ricklefs, 1998; Hunter, 1999). Para caracterizar la composición de la comunidad vegetal no es suficiente considerar sólo la riqueza como parámetro, dado que al-

gunas especies son comunes y otras raras. La diversidad, considerada en sus dos componentes, puede utilizarse como un indicador del grado de impacto que un factor exógeno —forestaciones— puede generar sobre la comunidad vegetal natural (Schlichter *et al.*, 1980). Puede variar de 1 hasta la diversidad máxima ( $S: H_{\max}$ ) dependiendo de la uniformidad de las abundancias de las especies (Ricklefs, 1998).

### Caracterización del suelo

En cada parcela se describió el suelo a campo según las normas de USDA (1998) y se compararon sus propiedades a nivel de los primeros 5 cm. Como puntos de muestreo se seleccionaron aleatoriamente tres individuos de la especie dominante. En el caso de las parcelas bajo PPR se consideraron como individuos para el sorteo tanto los árboles en pie o como los tocones remanentes. En cada punto se tomaron muestras de los primeros 5 cm del suelo mineral a una distancia de 50 cm desde el tronco. La profundidad del muestreo y la distancia a la base del tronco se fijaron acorde a los antecedentes (Zinke, 1962; Duchaufour, 1977; Broquen, 2002) que muestran que el área de influencia de la copa es donde se han encontrado cambios significativos y es en los primeros centímetros del suelo donde pueden detectarse los cambios dado que la materia orgánica en los sistemas boscosos se incorpora principalmente a partir de la hojarasca a través de la superficie (Kononova, 1982). En las parcelas bajo vegetación de estepa —estudios de caso— los puntos de muestreo se ubicaron por sorteo totalmente aleatorizado en una cuadrícula del área.

Las propiedades determinadas a nivel de los primeros 5 cm del suelo fueron densidad aparente ( $\delta_a$ ) en muestras no disturbadas extraídas por el método del cilindro; contenido de humedad a campo determinado gravimétricamente sobre la base de peso seco a estufa (105°C); pH(H<sub>2</sub>O) (1:1, p/p) y el pH(KCl) 1N (1:2,5; p/v) por determinación potenciométrica; carbono orgánico total por combustión seca y nitrógeno total por el método de Kjeldahl (SAMLA, 1996).

## Resultados y Discusión

### Transecta oeste-este

En la Tabla 1 se presenta una síntesis de las características de sitio y en la Tabla 2 una síntesis de las caracte-

**Tabla 1.** Principales características de sitio en los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los cinco sitios en estudio

Sitio	Vegetación	TMA	PMA	Morfometría de la superficie			Secuencia de horizontes del suelo <sup>(1)</sup>	
				Altitud	Pendiente			
					Exposición	Gradiente		
						%		
		°C	mm	m			Posición en la pendiente	
1	VN	<8-10	2100	690	SSE	5	TS	Oi-A1-A2-Bw-2Ab-2Bwb
	PP		690		5		Oi-Oe-Oa-A-Bw-2Ab-2Bwb	
	PPR		710		10		Oi-Oe-Oa-A1-A2-AB-Bw-2Ab	
2	VN	<8-10	2000	670	SSE	2	TS	Oi-A-Bw1-Bw2
	PP		670		1		Oi-Oe-A-Bw-C1-2C2-3C3	
	PPR		650		0		Oi-Oe-A-Bw1-Bw2 -2C1-2C2-3C3x?	
3	VN	<8-10	1300	1120	SSE	11	SH	Oa-A1-A2-Bw1-Bw2-Bw3
	PP		1190		8		Oi-Oe-Oa-A-Bw1-Bw2-2C	
	PPR		1100		10		Oe-Oa-A1-A2-Bw-2Ab-2Bwb	
4	VN	<8-10	1300	1120	ENE	8	BS	Oi-Oe-A1-A2-Bw-2Ab
	PP		1170		8		Oi-Oe-Oa-A-Bw-2Ab-2Bwb	
	PPR		1160		10		Oi-Oe-Oa-A1-A2-Bw-2Bw1-2Bw2-3C	
5	VN	<8-10	1100	910	OSO	11	FS	Oi-Oe-A1-A2-Bw1-Bw2
	PP		860		10		Oi-Oe-Oa-A1-A2-Bw1-Bw2	
	PPR		860		11		Oi-Oe-Oa-A1-A2-Bw1- Bw2	

Ref.: TMA: Temperatura media anual; PMA: Precipitación media anual; SH: hombro, BS: pendiente superior, FS: pendiente inferior, TS: base de la pendiente; <sup>(1)</sup>: Nomenclatura de horizontes según USDA (1998): O: horizonte de acumulación superficial de materia orgánica, i: materia orgánica ligeramente descompuesta, e: materia orgánica moderadamente descompuesta, a: materia orgánica fuertemente descompuesta, A: horizonte mineral próximo a la superficie con incorporación de materia orgánica, Bw: horizonte subsuperficial parcialmente alterado; 1 y 2: subdivisiones del horizonte principal, b: horizonte genético enterrado.

terísticas de la vegetación en las parcelas en estudio ubicadas en la transecta oeste-este. Acorde con lo planteado en la metodología, el material parental de los suelos fue en todos los sitios ceniza volcánica correspondiéndoles el orden Andisoles. La vegetación natural fue el bosque mixto de *Nothofagus*, la vegetación implantada fue el bosque de *Pinus ponderosa* con edades entre 16 y 30 años y el tiempo desde el raleo fue entre 3 y 4 años. Dada la equivalencia de las condiciones de sitio se pudo asumir que en cada sitio los factores de formación fueron los mismos excepto la vegetación, por lo que los cambios detectados pudieron ser atribuidos a la vegetación (Tablas 1 y 2).

En todas las parcelas la cobertura total del suelo fue elevada, variando entre 70 y 100%, con valores promedio de 96% en VN, 98% en PP y 80% en PPR (Tabla 2 y Fig. 3). En la Figura 3 se visualiza que la cobertura total en VN estuvo dominada por el estrato herbáceo y que

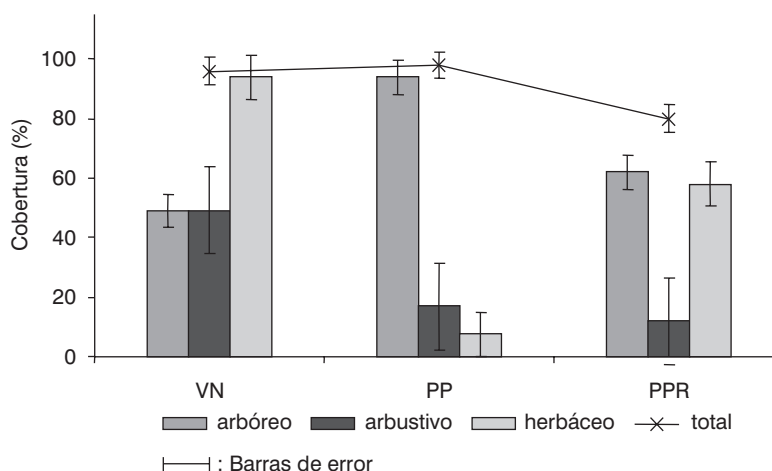
en PP estuvo dominada por el estrato arbóreo, mientras que en PPR se presentó una situación intermedia.

La cobertura total del suelo, no presentó diferencias significativas entre VN y PP, sin embargo en VN estuvieron representados los tres estratos, mientras que en PP dominó el estrato arbóreo el que fue significativamente mayor que en VN ( $p < 0,0001$ ) (Tabla 3 y Fig. 3). Las diferencias en el tipo de estructura del dosel del bosque de coníferas —más denso y cerrado— con relación al dosel del bosque de latifolias (Daniel *et al*, 1982) puede ser uno de los factores que haya incidido sobre las condiciones del sotobosque y su distribución por estrato. En PPR la cobertura total fue significativamente menor que en VN ( $p < 0,0039$ ) y que en PP ( $p < 0,0013$ ), estando dominada por los estratos arbóreo y herbáceo. La menor cobertura total en PPR respondió a la disminución significativa de la cobertura arbórea respecto a PP ( $p < 0,0001$ ) generada por la práctica sil-



**Tabla 2.** Características —cobertura y composición— de la vegetación en los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los cinco sitios en estudio

Sitio	Vegetación	Cobertura total (%)	Cobertura (%) y especies dominantes por estrato					
			Arbórea		Arbustiva		Herbácea	
1	VN	90	45	<i>Nothofagus obliqua</i>	60	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Azara microphylla</i> , <i>Aristotelia maqui</i>	90	<i>Festuca pallescens</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Holcus lanatus</i> , <i>Prunella vulgaris</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Acaena ovalifolia</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Oxalis valdiviensis</i>
	PP	90	90	<i>Pinus ponderosa</i>	15	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Azara microphylla</i> , <i>Aristotelia maqui</i>	—	—
	PPR	80	60	<i>Pinus ponderosa</i>	15	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Azara microphylla</i> , <i>Aristotelia maqui</i>	70	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Elymus patagonicus</i> , <i>Festuca pallescens</i> , <i>Holcus lanatus</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Prunella vulgaris</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Osmorrhiza chilensis</i>
2	VN	90	60	<i>Nothofagus obliqua</i> , <i>N. dombeyi</i>	25	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Sarothamnus scoparius</i>	80	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Osmorrhiza chilensis</i> , <i>Blechnum chilense</i>
	PP	100	100	<i>Pinus ponderosa</i>	—	—	3	<i>Dactylis glomerata</i>
	PPR	80	60	<i>Pinus ponderosa</i>	—	—	70	<i>Holcus lanatus</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Osmorrhiza chilensis</i> , <i>Rumex acetosella</i>
3	VN	100	40	<i>Nothofagus antarctica</i>	40	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Berberis darwinii</i> , <i>Schinus patagonicum</i> , <i>Balbisia gracilis</i>	100	<i>Poa ligularis</i> , <i>Bromus macranthus</i> , <i>Apera interrupta</i> , <i>Elymus patagonicus</i> , <i>Acaena ovalifolia</i> , <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Osmorrhiza chilensis</i> , <i>Hypochoeris radicata</i>
	PP	100	90	<i>Pinus ponderosa</i>	50	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Berberis darwinii</i>	10	<i>Stipa speciosa</i> , <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Hypochoeris radicata</i>
	PPR	70	60	<i>Pinus ponderosa</i>	5	<i>Chusquea culeou</i>	50	<i>Stipa speciosa</i> , <i>Bromus macranthus</i> , <i>Acaena pinnatifida</i> , <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Hypochoeris radicata</i> , <i>Trifolium repens</i>
4	VN	100	40	<i>Nothofagus antarctica</i>	50	<i>Chusquea culeou</i> , <i>Berberis darwinii</i> , <i>Rosa eglanteria</i>	100	<i>Stipa speciosa</i> , <i>Bromus macranthus</i> , <i>Poa ligularis</i> , <i>Apera interrupta</i> , <i>Acaena splendens</i> , <i>Solidago chilensis</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Hypochoeris</i> , <i>Plantago lanceolata</i>
	PP	100	90	<i>Pinus ponderosa</i>	20	<i>Chusquea culeou</i>	20	<i>Stipa speciosa</i> , <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Osmorrhiza chilensis</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Taraxacum officinale</i>
	PPR	80	60	<i>Pinus ponderosa</i>	40	<i>Mulinum spinosum</i> , <i>Chusquea culeou</i>	50	<i>Stipa speciosa</i> , <i>Festuca pallescens</i> , <i>Elymus patagonicus</i> , <i>Poa ligularis</i> , <i>Acaena pinnatifida</i> , <i>A. splendens</i> , <i>Alstroemeria aurantiaca</i> , <i>Hypochoeris radicata</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Rhodophiala elwesii</i> , <i>Euphorbia collina</i>
5	VN	100	60	<i>Nothofagus antarctica</i> , <i>Lomatia hirsuta</i> , <i>Maytenus boaria</i>	70	<i>Rosa eglanteria</i> , <i>Berberis darwinii</i> , <i>Discaria articulata</i>	100	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Stipa speciosa</i> , <i>Acaena ovalifolia</i> , <i>Carex andina</i>
	PP	100	100	<i>Pinus ponderosa</i>	—	—	5	<i>Holcus lanatus</i> , <i>Rumex acetosella</i>
	PPR	90	70	<i>Pinus ponderosa</i>	—	—	50	<i>Holcus lanatus</i> , <i>Festuca pallescens</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Acaena splendens</i>



**Figura 3.** Distribución de la cobertura promedio total y por estrato en los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los cinco sitios en estudio.

**Tabla 3.** Algunos estadísticos sencillos y nivel de significancia de las diferencias entre los valores promedios de cobertura y de la composición de la vegetación en los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR)

Tratamiento	Cobertura de la vegetación (%)											
	total			arbórea			arbustiva			herbácea		
	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR
Media	96 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	80 <sup>b</sup>	49 <sup>c</sup>	94 <sup>a</sup>	62 <sup>b</sup>	49 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	94 <sup>a</sup>	8 <sup>c</sup>	58 <sup>b</sup>
Desvío estándar	5,48	4,47	7,07	10,25	5,48	4,47	17,46	20,49	16,81	8,94	7,83	10,95
Mínimo	90	90	70	40	90	60	25	0	0	80	0	50
Máximo	100	100	90	60	100	70	70	50	40	100	20	70

Tratamiento	Características de la composición de la vegetación											
	Riqueza (S)			Equitatividad (J)			Diversidad (H)			Diversidad máxima (H <sub>máx.</sub> )		
	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR
Media	12 <sup>a</sup>	5 <sup>b</sup>	10 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>a</sup>	0,3 <sup>b</sup>	0,6 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	1,6 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	1,2 <sup>b</sup>	2,2 <sup>a</sup>
Desvío estándar	1,82	2,41	4,28	0,06	0,17	0,09	0,18	0,44	0,51	0,14	0,52	0,46
Mínimo	10	2	5	0,8	0,2	0,7	1,9	0,1	1,1	2,3	0,7	1,6
Máximo	14	8	14	0,9	0,6	0,9	2,3	1,2	2,4	2,6	2,0	2,6

Ref.: Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

vícula del raleo, posibilitando un desarrollo incipiente del sotobosque. La disponibilidad de recursos para las especies del sotobosque fue afectada por la densidad del dosel del bosque, incidiendo en la duración del día y en la radiación recibida a nivel del piso forestal, resultando probablemente en la variación de la temperatura del aire y del suelo, la humedad, la evaporación y la

transpiración. La permanencia y desarrollo del sotobosque estaría condicionada por el mantenimiento de los valores de cobertura arbórea a través del tiempo por medio del manejo.

El estrato arbustivo —ausente bajo PP y PPR en las parcelas 2 y 5— fue significativamente mayor en VN que en PP ( $p < 0,0289$ ) y que en PPR ( $p < 0,0092$ ). El estrato

herbáceo —ausente solo en la parcela 1 bajo PP— fue significativamente mayor en VN que en PP ( $p < 0,0001$ ) y que en PPR ( $p < 0,0005$ ), así como fue significativamente mayor en PPR que en PP ( $p < 0,0001$ ) (Tabla 3 y Fig. 3).

En PPR el sotobosque estuvo dominado por el estrato herbáceo y en menor medida por el estrato arbustivo, indicando probablemente una recuperación más lenta de los arbustos respecto a las hierbas, posiblemente por un crecimiento más lento debido a que se trata de especies perennes y leñosas.

El principal componente del sotobosque arbustivo fue *Chusquea culeou* (Tabla 2). Esta especie estuvo presente bajo los tres tipos de uso con excepción de la parcela más hacia el este, probablemente debido a sus altos requerimientos de humedad y a la disminución de las precipitaciones (Dimitri, 1972). La composición mayoritaria del sotobosque herbáceo fueron las gramíneas, dominando hacia el oeste *Dactylis glomerata* acompañada por *Holcus lanatus* y *Festuca pallescens* y hacia el este *Stipa speciosa* y *Holcus lanatus*. Otras especies frecuentemente presentes en el estrato herbáceo fueron *Acaena* sp. y/o *Fragaria chiloensis* y/o *Alstroemeria aurantiaca* y/o *Rumex acetosella* (Tabla 2).

Según la clasificación planteada por Raunkjaer (1937), las bioformas dominantes en el estrato arbóreo fueron las megafanerófitas y mesofanerófitas, mientras que el estrato arbustivo estuvo dominado por microfanerófitas y nanofanerófitas y el estrato herbáceo por hemcriptófitas, apareciendo en marcadamente menor medida las geófitas.

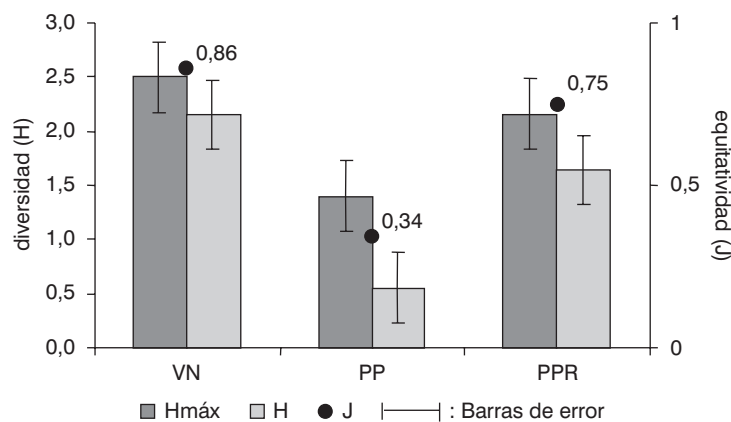
El número de especies presentes —riqueza (S)— fue en promedio 12 en VN, 10 en PPR y 5 en PP. La riqueza de especies fue siempre mayor bajo VN que bajo PP

( $p < 0,0042$ ), lo que fue esperable dado la fuerte modificación que se produjo en el sistema como consecuencia de la instalación de las forestaciones. Considerando PPR, no se encontraron diferencias significativas de la riqueza tanto respecto a VN como a PP, siendo los valores intermedios lo que indicaría un cambio en las condiciones posteriores al raleo permitiendo el desarrollo de vegetación en el sotobosque (Tabla 3).

En la Figura 4 se presentan los resultados del cálculo del índice de Shannon que permitió estimar la diversidad y evaluar la respuesta al uso forestal.

La diversidad de la vegetación estimada por el índice de Shannon, fue mayor bajo VN que bajo PP ( $p < 0,0003$ ), presentando un mayor número de especies —riqueza— y con una mayor uniformidad en su distribución —equitatividad— (Tabla 3 y Fig. 4). Esto evidenció, tal como las variaciones en la cobertura, la fuerte alteración del sistema por el uso con forestaciones. Respecto a PPR, la diversidad presentó valores intermedios, siendo significativamente diferente de PP ( $p < 0,0029$ ), y no de VN, lo que sería un indicio de una posible recuperación de la riqueza de especies y su distribución producto de la apertura del dosel post-raleo.

En VN, el estrato arbóreo y el estrato arbustivo estuvieron compuestos principalmente por especies nativas, mientras que en el estrato herbáceo se encontraron especies exóticas que evidenciaron la intervención antrópica en el sistema. Comúnmente se presenta una importante proporción de especies no nativas, las que no se consideran invasoras y son generalmente malezas que no están en el banco de semillas, localmente comunes y que colonizan el sitio desde fuentes externas por su facilidad de



**Figura 4.** Diversidad (H), Diversidad máxima (H<sub>máx.</sub>) y Equitatividad (J) promedio en los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los cinco sitios en estudio, según el índice de Shannon.



dispersión (Zerbe, 2002). Este sería el caso de *Dactylis glomerata* y *Holcus lanatus*, que son especies introducidas y asilvestradas (Dimitri, 1972) y fueron detectadas en la mayoría de las parcelas en estudio (Tabla 2). El dominio del estrato herbáceo por especies correspondientes a la familia de las gramíneas pudo deberse a que éstas alcanzan su crecimiento relativo máximo a intensidades lumínicas más bajas y por eso compiten mejor a la sombra del dosel (Montoya y Meson, 1982) (Tabla 2).

Las diferencias en la composición de especies se deberían a, y estarían indicando, las diferencias en las condiciones de sitio principalmente referidas a las características de la superficie del suelo, acorde a lo planteado por Zerbe (2002).

En la Tabla 4 se sintetizan las propiedades edáficas analizadas y en la Tabla 5 algunos estadísticos sencillos y el nivel de significancia de la diferencia de las medias observadas.

**Tabla 4.** Síntesis de las características y propiedades edáficas bajo los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los cinco sitios en estudio

Sitio	Vegetación	Espesor horizonte O (cm)	Horizonte A <sup>(1)</sup>			Primeros 5 cm del suelo mineral					
			Espesor (cm)	Estructura a campo	Raíces	Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> )	Humedad a campo <sup>(2)</sup> (%)	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	Carbono (g kg <sup>-1</sup> )	Nitrógeno (g kg <sup>-1</sup> )
1	VN	3	A1: 16 A2: 29	gr m → sbk	3 vf; T 3 vf; T	0,57	64,4	5,3	4,9	82,9	7,0
	PP	14	A: 60	m → sbk	3 co, m, f; T	0,63	47,0	5,7	5,3	52,1	4,5
	PPR	9	A1: 10 A2: 22	m → sbk/gr m → sbk	3 f; T 3 vc, m, f; T	0,72	44,2	5,4	5,1	53,5	4,4
2	VN	2	A: 25	gr	3 m, f; T	0,94	40,6	5,4	4,8	45,1	4,0
	PP	4	A: 10	m → sbk	2 co, m; T	1,10	35,1	5,3	4,6	32,0	2,8
	PPR	10	A: 18	gr	3 f; T	0,91	33,1	5,3	4,5	33,2	2,8
3	VN	4	A1: 14 A2: 23	gr m → sbk	3 f; T 3 vf; T	0,82	54,6	5,4	4,9	80,3	7,0
	PP	6	A: 37	m → sbk	3 co, m; 2 vf, f; T	0,93	37,5	5,5	4,8	28,8	2,4
	PPR	2	A1: 15 A2: 23	m → sbk/gr msbk	3 m, f; T 3 vc, m, f; T	0,86	44,7	5,4	4,8	73,9	6,2
4	VN	3	A1: 17 A2: 13	gr m → sbk	3 f, vf; T 3 f, vf; T	0,63	51,3	5,5	4,9	58,3	5,0
	PP	4	A: 40	m → sbk	3 m, f, vf; T	0,83	48,8	5,3	4,6	56,7	4,6
	PPR	7	A1: 15 A2: 20	gr m → sbk	3 vf; T 3 f; T	0,74	45,7	5,4	4,7	54,6	4,0
5	VN	2	A1: 10 A2: 20	gr m → sbk	3 m, f, vf; T 3 f, vf; T	0,64	64,0	5,3	5,0	84,2	7,2
	PP	8	A1: 10 A2: 22	m → sbk m → sbk	1 f; T 2 m, f; T	0,84	42,2	5,9	5,7	42,5	3,5
	PPR	4	A1: 16 A2: 20	m → sbk/gr m → sbk	2 m, f; T 3 vc, f; 2 co, m; T	0,97	37,4	5,6	5,4	29,4	2,6

Ref.: <sup>(1)</sup>: Nomenclatura de horizontes y códigos convencionales según USDA (1998): A: horizonte mineral próximo a la superficie con incorporación de materia orgánica, 1 y 2: subdivisiones del horizonte principal; gr: granular, sg: grano suelto, sbk: bloques subangulares, m: masivo, 1: pocas, 2: comunes, 3: abundantes, vf: muy finas, f: finas, m: medias, co: gruesas, vc: muy gruesas, T: en todo el área.→: rompiendo a, /: y; <sup>(2)</sup>: determinación gravimétrica al fin de la estación de lluvias.

**Tabla 5.** Algunos estadísticos sencillos y significancia de las diferencias entre las medias de algunas propiedades a nivel de los primeros 5 cm del suelo bajo los tratamientos bosque mixto de *Nothofagus* (VN), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR)

Tratamiento	Horizonte O			Horizonte A								
	Espesor (cm)			Espesor (cm)			Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> )			Humedad a campo (%)		
	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR
Media	3 <sup>b</sup>	7 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	36 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,84 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	42 <sup>b</sup>	41 <sup>b</sup>
Desvío estándar	0,84	4,15	3,36	7,77	17,92	8,01	0,15	0,17	0,11	9,9	5,9	5,51
Mínimo	2	4	2	25	10	18	0,57	0,63	0,72	41	35	33
Máximo	4	14	10	45	60	38	0,94	1,10	0,97	64	49	46

Primeros 5 cm del horizonte A												
Tratamiento	pH(H <sub>2</sub> O)			pH(KCl)			C orgánico (g kg <sup>-1</sup> )			N total (g kg <sup>-1</sup> )		
	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR	VN	PP	PPR
Media	5,4 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	4,9 <sup>c</sup>	5,0 <sup>a</sup>	4,9 <sup>b</sup>	70,2 <sup>a</sup>	42,3 <sup>b</sup>	48,9 <sup>b</sup>	6,0 <sup>a</sup>	3,6 <sup>c</sup>	4,0 <sup>b</sup>
Desvío estándar	0,08	0,26	0,11	0,07	0,48	0,35	17,54	12,16	18,06	1,45	0,99	1,45
Mínimo	5,3	5,3	5,3	4,8	4,6	4,5	45,1	28,8	29,4	4,0	2,4	2,6
Máximo	5,5	5,9	5,6	5,0	5,7	5,4	84,2	56,7	73,9	7,2	4,6	6,2

Ref.: Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Los datos obtenidos fueron en todos los casos acordes a los antecedentes sobre Andisoles —baja densidad aparente, alto contenido de humedad y de carbono orgánico y nitrógeno total— (Colmet Daage *et al.*, 1988; Shoji *et al.*, 1993; Broquen *et al.*, 2000, 2005; Broquen, 2002). El horizonte orgánico estuvo presente en todas las parcelas bajo los sistemas boscosos —naturales e implantados— donde el principal aporte de materia orgánica fue desde la superficie, característico de los sistemas boscosos (Kononova, 1982) (Tabla 4). Las condiciones climáticas características de la zona en estudio —elevada humedad y bajas temperaturas— favorecerían la acumulación de materia orgánica y la formación de un horizonte orgánico cuyo espesor dependería principalmente de la cantidad y calidad del aporte de hojarasca de la vegetación. El horizonte orgánico fue significativamente menor bajo VN que bajo PP ( $p < 0,0485$ ) y que bajo PPR ( $p < 0,0486$ ) (Tabla 5).

Según los valores presentados por Broquen (2002) la relación C/N de la hojarasca fue mayor bajo pino (45) que bajo *Nothofagus* (25). La relación C/N, aunque simplista para predecir la mineralización, es una guía importante para saber si ocurrirá mineralización neta o inmovilización de la materia orgánica (Jarvis *et al.*,

1996). Esto sugeriría que la tasa de mineralización fue mayor bajo *Nothofagus*, lo que se reflejó en el espesor del horizonte orgánico. La tasa de mineralización estaría afectada por otros factores entre los que se encuentran la temperatura y el contenido de humedad del suelo así como también la población del suelo. La acumulación de hojarasca en superficie también se vería favorecida por la sombra producida por el dosel, lo que dificulta la descomposición de la hojarasca, pudiendo impedir la germinación de muchas especies (Montoya y Meson, 1982). Por otra parte, bajo PPR el espesor del horizonte orgánico fue algo menor que bajo PP, lo que pudo estar determinado por el incremento de radiación que llega al piso forestal y por las labores implicadas en el raleo —arrastre, remoción de suelo, acanchaderos y otras—, sumándose el menor aporte de hojarasca producto de la pérdida de cobertura arbórea resultante del raleo. La descomposición de la materia orgánica en PPR estaría limitada por la alta relación C/N y a su vez favorecida por el cambio en las condiciones que determinarían una mayor oxidación de la materia orgánica.

El espesor promedio del horizonte A no presentó diferencias significativas bajo los tres tipos de vegetación (VN: 33 cm; PP: 36 cm; PPR: 32 cm) (Tabla 5), lo que

permitió inferir que no ocurrieron pérdidas de suelo superficial producto de los diferentes usos. Las diferencias encontradas fueron relacionadas con la morfología del horizonte A en cuanto a la presencia de subdivisiones y su estructura. Bajo VN el horizonte A estuvo subdividido (A1 y A2) —con excepción de la parcela 2—, marcado por la distribución y abundancia de raíces muy finas, finas y medias que determinaron diferencias en la estructura. Bajo PP no presentó subdivisiones —con excepción de la parcela 5—. Bajo PPR el horizonte A también estuvo subdividido con excepción de la misma parcela que bajo VN —parcela 2— (Tabla 4).

En todos los casos, la estructura del horizonte A fue granular bajo VN y masiva rompiendo a bloques subangulares bajo PP, acorde con los antecedentes que indican que en suelos ándicos el uso provoca una pérdida de estructura, reflejándose en el cambio de granular a masiva, acompañado por una pérdida de macroporos y un incremento de microporos (Shoji *et al.*, 1993; Broquen *et al.*, 2000). Con la aparición del sotobosque bajo PPR se observó el efecto aglutinante de las raíces finas y muy finas sobre las partículas sólidas del suelo, determinando que la estructura fuese similar a la de VN. La densidad aparente no varió significativamente entre los diferentes tratamientos (Tabla 5), lo que fue acorde a los antecedentes (Broquen *et al.*, 2000). La estructura respondería al tipo y cantidad de raíces y de materia orgánica (Tablas 4 y 5) mostrando una tendencia a la recuperación respecto a lo observado en VN expresando la capacidad de resiliencia estructural de los Andisoles.

El contenido medio de humedad a campo determinado en los primeros 5 cm del suelo al fin de la estación de lluvias fue alto y significativamente mayor bajo VN que bajo PP ( $p < 0,0372$ ) y que bajo PPR ( $p < 0,0248$ ) (Tablas 4 y 5), respondiendo a diferentes causas que podrían interactuar entre sí, tales como condiciones edáficas y de uso consuntivo del agua (Gyenge *et al.*, 2002; Schlichter *et al.*, 2004). La diferencia encontrada en la estructura del horizonte A no sería la causa determinante del menor contenido de humedad bajo pino, dado que según los cambios de estructura de granular a masiva fueron acompañados por un incremento significativo de la porosidad, disminuyendo la macroporosidad y manteniéndose la porosidad total (Broquen *et al.*, 2000), lo que se deberá continuar estudiando en futuras investigaciones.

Los suelos fueron fuertemente ácidos bajo los tres tratamientos, con promedios de 5,4 bajo VN y PPR y 5,5 bajo PP. Los valores promedio del pH(KCl) fueron  $\leq 5$ , indicando la presencia de Al activo, sin que im-

plique problemas de toxicidad dado que se trata de Andisoles alofánicos [ $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) > 4,9$ ] (Shoji *et al.*, 1993; Broquen, 2002) (Tablas 4 y 5).

El contenido de carbono fue significativamente menor bajo PP que bajo VN ( $p < 0,0194$ ), reflejando la alteración del sistema (Jarvis *et al.*, 1996) debido a la implantación de forestaciones con coníferas exóticas. Respecto a PPR, el contenido de carbono orgánico no presentó diferencias significativas tanto respecto de VN como de PP, presentando valores intermedios lo que indicaría una cierta recuperación del contenido de materia orgánica coincidente con el incipiente desarrollo del sotobosque. El contenido de nitrógeno fue alto bajo los diferentes usos, acompañando la tendencia observada para el carbono orgánico (Tablas 4 y 5).

Las propiedades edáficas asociadas al desarrollo de la vegetación no mostraron variaciones que impidan la germinación y crecimiento de las especies naturales. Aunque hubo un menor contenido de agua en el suelo bajo PP y PPR, los contenidos se encontraron por encima de los valores de punto de marchitez permanente y por debajo de las condiciones de saturación informados para estos suelos (Broquen *et al.*, 2002). Esto permitió inferir que al comienzo de la primavera el suelo, a nivel de los primeros 5 cm, se encontró en adecuadas condiciones de humedad y junto con la mayor radiación bajo PPR incidiría sobre la aparición del sotobosque. Por otra parte al ser el régimen hídrico de los suelos údico, la sección control no permaneció seca más de 45 días consecutivos a partir del solsticio de verano (Ferrer *et al.*, 1990), lo que compensaría en cierta medida el déficit de precipitaciones durante la estación de crecimiento.

Como ya se planteó, la elevada cobertura total observada bajo PP correspondió básicamente al dosel arbóreo con un escaso aporte del estrato arbustivo y herbáceo. El raleo de ejemplares dentro de la forestación provocó una apertura del dosel arbóreo que permitió una mayor llegada de la radiación solar al suelo, lo que determinaría la mayor cobertura de especies herbáceas y arbustivas bajo PPR que bajo PP.

## Estudios de caso

Todos los suelos fueron derivados de cenizas volcánicas y la formación vegetal fue la estepa (VNe). Tanto las parcelas bajo VNe como sus colindantes parcelas bajo PP y PPR se encontraron en condiciones de sitio equivalentes (Tabla 6).

**Tabla 6.** Principales características de sitio en los tratamientos estepa (VNe), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los dos sitios en estudio

Sitio	Vegetación	Morfometría de la superficie					Secuencia de horizontes <sup>(1)</sup>
		TMA	PMA	Altitud	Pendiente		
					Exposición	Gradiente	
						Posición en la pendiente	
°C	mm	m	%				
I	VNe sg	1100	855	ENE	8	FS	A1-A2-Bw1-Bw2
	PP		860		9		Oi-Oe-A-Bw1-Bw2
	PPR		870		9		Oi-Oe-A1-A2-Bw1-Bw2
< 8 - 10							
II	VNe g	1100	850	OSO	9	FS	A1-A2-Bw1-Bw2
	PP		860		10		Oi-Oe-Oa-A1-A2-Bw1-Bw2
	PPR		860		11		Oi-Oe-Oa-A1-A2-Bw1- Bw2

Ref.: sg: subarborescente gramínea, g: gramínea; TMA: Temperatura media anual; PMA: Precipitación media anual; FS: pendiente inferior; <sup>(1)</sup>: Nomenclatura de horizontes según USDA (1998): O: horizonte de acumulación superficial de materia orgánica, i: materia orgánica ligeramente descompuesta, e: materia orgánica moderadamente descompuesta, a: materia orgánica fuertemente descompuesta; A: horizonte mineral próximo a la superficie con incorporación de materia orgánica; B w: horizonte subsuperficial parcialmente alterado; 1 y 2: subdivisiones del horizonte principal.

**Tabla 7.** Características —cobertura y composición— de la vegetación en los tratamientos estepa (VNe), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los dos sitios en estudio

Sitio	Vegetación	Cobertura total (%)	Cobertura (%) y especies dominantes por estrato			
			Arbórea	Arbustiva	Herbácea	
I	VNe sg	100	—	60	40	<i>Discaria articulata</i> , <i>Mutisia oligodon</i> , <i>Schinus patagonicum</i> , <i>Berberis darwinii</i> , <i>Mulinum spinosum</i>
	PP	100	100	—	4	<i>Stipa speciosa</i> , <i>Acaena splendens</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Bromus macranthus</i> , <i>Hordeum comosum</i> , <i>Poa ligularis</i>
	PPR	70	60	—	20	<i>Rhodophiala elwesii</i> , <i>Sisyrinchium arenarium</i> , <i>Stipa speciosa</i> , <i>Elymus patagonicus</i> , <i>Cortaderia pilosa</i> , <i>Euphorbia collina</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Solidago chilensis</i>
II	VNe g	100	—	—	100	<i>Holcus lanatus</i> , <i>Stipa speciosa</i> , <i>Bromus macranthus</i> , <i>Vulpia myurus</i> , <i>Apera interrupta</i> , <i>Plantago patagonicus</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Acaena splendens</i>
	PP	100	100	—	5	<i>Holcus lanatus</i> , <i>Rumex acetosella</i>
	PPR	90	70	—	50	<i>Holcus lanatus</i> , <i>Festuca pallescens</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Acaena splendens</i>

Ref.: sg: subarborescente gramínea, g: gramínea.

La cobertura total del suelo fue alta en todos los casos. En el sitio I, estuvieron representados el estrato arbustivo y herbáceo correspondiendo a la formación estepa subarborescente gramínea —VNe sg—, mientras que en el sitio II, dominó el estrato herbáceo correspondiendo a la

formación estepa gramínea —VNe g— (Movia *et al.*, 1982). La cobertura herbácea fue escasa bajo PP y aumentó bajo PPR, respondiendo a la apertura del dosel. Las especies más abundantes fueron gramíneas, destacándose *Stipa speciosa* y *Holcus lanatus* (Tabla 7).

**Tabla 8.** Riqueza, Equitatividad, Diversidad y Diversidad máxima en los tratamientos estepa (VNe), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los dos sitios en estudio

Sitio	Tratamiento	Riqueza (S)	Equitatividad (J)	Diversidad (H)	Diversidad máxima (Hmáx.)
I	VNe sg	9	0,83	1,83	2,2
	PP	3	0,20	0,22	1,1
	PPR	5	0,71	1,14	1,6
II	VNe g	12	0,91	2,26	2,5
	PP	3	0,17	0,26	1,1
	PPR	7	0,39	0,76	2,0

Ref.: sg: subarbustiva graminosa, g: graminosa.

Los valores de riqueza, equitatividad y diversidad fueron mayores tanto en VNe g como en VNe sg que en PP (Tabla 8), mientras que la vegetación de las parcelas con PPR se ubicó en una situación intermedia.

Esto indicaría que las tendencias encontradas en cuanto a la diversidad cuando la vegetación fue la estepa, fueron las mismas que las encontradas cuando la vegetación fue el bosque mixto de *Nothofagus*, siendo siempre mayor la riqueza y la equitatividad bajo vegetación natural respecto a PP y en una condición intermedia en PPR, donde la apertura del dosel arbóreo con el raleo favoreció el desarrollo de los estratos arbustivo y herbáceo, incrementando la riqueza de especies y la equitatividad.

El contenido de humedad en los primeros 5 cm del suelo fue mayor bajo estepa —tanto subarbustivo graminosa como graminosa— que bajo PP y PPR, mostrando la misma tendencia que las parcelas de la transecta con vegetación de *Nothofagus*.

La subdivisión del horizonte A por acción de las raíces no fue tan clara como en las parcelas de la transecta al igual que las variaciones del carbono orgánico que fue menor bajo PPR en los dos casos mientras que bajo PP fue menor sólo en uno de los casos, ocurriendo algo similar con la densidad aparente. El pH(H<sub>2</sub>O) del suelo se mantuvo (Tabla 9). Al ser sólo dos los casos analizados no se pueden determinar más que tendencias de las diferentes propiedades observadas.

#### Patrones de comportamiento

En todos los casos el tipo de suelo fue derivado de cenizas volcánicas bajo régimen údico evolucionan-

do a Andisoles con un patrón de comportamiento frente a los cambios de vegetación muy similar en las parcelas de la transecta y en los estudios de caso. Los suelos mostraron, acorde con los antecedentes para la región, una mayor incidencia en sus propiedades del material de origen y las condiciones edafoclimáticas que del tipo de vegetación. Se encontró también un patrón de comportamiento similar en las plantaciones raleadas, ubicándose en situaciones intermedias entre la vegetación natural y las plantaciones sin raleo. Respecto a las condiciones del suelo en los primeros 5 cm también se encontró un patrón de comportamiento similar, donde las propiedades edáficas mostraron que el sistema respondió como un sistema alterado por las forestaciones, detectándose algunas tendencias a la disminución del carbono orgánico y del nitrógeno.

La apertura parcial del dosel evidenció la resiliencia y estabilidad del sistema mostrando una tendencia al desarrollo de la vegetación del sotobosque, a la recuperación de la estructura del suelo y de los niveles de carbono orgánico, junto con la ausencia de variación de la densidad aparente y de la reacción del suelo. Esto muestra que las diferentes prácticas de manejo de las forestaciones implantadas pueden realizarse con pautas que tiendan a acercarse o alejarse de la sostenibilidad de los sistemas implicados. De la información obtenida en cuanto a la composición del sotobosque y su efecto sobre los primeros 5 cm del suelo, se podrían derivar estrategias de manejo apuntando a lograr la diversificación de los sistemas productivos, incorporando otras actividades, tal como la actividad ganadera para el desarrollo de sistemas silvopastorales.



**Tabla 9.** Síntesis de las características y propiedades edáficas en los tratamientos estepa (VNe), *Pinus ponderosa* sin raleo (PP) y *Pinus ponderosa* raleado (PPR), en los dos sitios en estudio

Sitio	Vegetación	Espesor horizonte O (cm)	Horizonte A <sup>(1)</sup>			Primeros 5 cm del suelo mineral					
			Espesor (cm)	Estructura a campo	Raíces	Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> )	Humedad a campo <sup>(2)</sup> (%)	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	Carbono (g kg <sup>-1</sup> )	Nitrógeno (g kg <sup>-1</sup> )
I	VNe sg	0	A1: 10	m → gr	3 vf; T						
			A2: 25	m → sbk	2 co; 3 m, f; T	0,98	29,9	5,7	5,2	28,3	2,3
	PP	6	A: 24	m → sbk	2 co, 3 m; 1 f; T	1,14	20,6	5,6	4,8	20,3	1,7
	PPR	3	A1: 10 A2: 23	gr m → sbk	3 vf; T 1 vc; 2 co; 3 m, f; T	1,04	22,1	5,5	4,8	18,3	1,6
II	VNe g	0	A1: 10	gr	3 vf; T						
			A2: 32	m → sbk	3 f, vf; T	0,84	43,6	5,8	5,6	42,4	3,5
			A1: 10	m → sbk	1 f; T						
	PP	8	A2: 22	m → sbk	2 m, f; T	0,84	42,2	5,9	5,7	42,5	3,5
			A1: 16	m → sbk/gr	2 m, f; T						
	PPR	4	A2: 20	m → sbk	3 vc, f; 2 co, m; T	0,97	37,4	5,6	5,4	29,4	2,6

Ref.: sg: subarborescente gramínea, g: gramínea; <sup>(1)</sup>: Nomenclatura de horizontes y Códigos Convencionales (USDA, 1998): A: horizonte mineral próximo a la superficie con incorporación de materia orgánica, 1 y 2: subdivisiones del horizonte principal A; gr: granular, sbk: bloques subangulares, m: masivo, l: pocas, 2: comunes, 3: abundantes, vf: muy finas, f: finas, m: medias, co: gruesas, vc: muy gruesas, T: en todo el área. →: rompiendo a, /: y; <sup>(2)</sup>: determinación gravimétrica al fin de la estación de lluvias.

## Conclusiones

Una recapitulación de los principales resultados alcanzados para la zona de estudio sería: 1) las forestaciones con pino no raleadas y raleadas determinaron una alteración del ecosistema que se reflejó en (i) la menor diversidad de la vegetación implantada respecto a la natural tanto para la formación vegetal bosque de *Nothofagus* como estepa; (ii) la tendencia a menores contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno total del suelo bajo la vegetación implantada de *Pinus ponderosa*. 2) La apertura del dosel arbóreo evidenció la resiliencia de los sistemas implicados lo que se reflejó en (i) el incremento de la riqueza de especies y equitatividad; (ii) la tendencia a presentar propiedades edáficas intermedias entre vegetación natural y vegetación implantada sin raleo. 3) El factor determinante de los cambios en la composición de la comunidad vegetal del sotobosque sería la radiación solar.

En futuros trabajos, cuando exista un número suficiente de plantaciones que cumplan los requisitos para ingresar como parcelas, se deberá aumentar el número de unidades de muestreo y réplicas a modo de forta-

lecer las conclusiones alcanzadas. Las parcelas a ser incluidas deberán abarcar situaciones comprendidas dentro del rango de variación de condiciones de sitio contempladas en este estudio.

## Agradecimientos

Esta investigación se realizó dentro del marco del PI 04-S009, subsidiado por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue y por Becas Neuquén y con la colaboración de las diferentes empresas y establecimientos forestales donde se realizaron los estudios. Se agradece al Profesor Ing. Agr. Ricardo Gandullo quien colaboró en la identificación de las especies, así como a los estudiantes que ayudaron en las tareas de campo.

## Referencias bibliográficas

ARMESTO J., VILLAGRÁN C., ARROYO M.K. (eds.), 1995. Ecología de los bosques nativos de Chile. Editorial Universitaria. Chile, 477 pp.

- BARROS V., CORDÓN V.H., MOYANO C.L., MÉNDEZ R.J., FORQUERA J.C., PICIO O., 1983. Cartas de precipitaciones del oeste de las provincias de Río Negro y Neuquén. Primera contribución. Facultad de Ciencias Agrarias, UNC-CENPAT-CONICET, 100 pp.
- BRAUN BLANQUET J., 1950. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume. Madrid, 820 pp.
- BROQUEN P., 2002. Cambios en las propiedades de suelos Ándicos asociados al reemplazo del bosque nativo por *Pinus ponderosa* Dougl., SO Neuquén, Argentina. Tesis de Magíster. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca (Buenos Aires).
- BROQUEN P., FALBO G., FRUGONI M.C., GIRARDIN J.L., GUIDO M., MARTINESE P., 2000. Estructura y porosidad en Andisoles con vegetación natural y con plantaciones de *Pinus ponderosa* Dougl. en el SO de Neuquén, Argentina. Bosque 21 (1), 25-36.
- BROQUEN P., CANDAN F., FALBO G., GIRARDIN J.L., APCARIAN A., 2002. Efecto del *Pinus ponderosa* Dougl. sobre la reacción del suelo en el Sudoeste del Neuquén, Argentina. Bosque 23 (1): 47-60.
- BROQUEN P., LOBARTINI J.C., CANDAN F., FALBO G., 2005. Allophane, aluminum, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash soils of Argentina. Geoderma 169 (3-4), 167-177.
- CAIN M.D., SHELTON M.G., 2001. Secondary forest succession following reproduction cutting on the Upper Coastal Plain of southeastern Arkansas, USA. Forest Ecology and Management 146 (1-3), 223-238.
- COLMET DAAGE F., MARCOLIN A., LOPEZ C., LANCIOTTI M., AYESA J., BRAN D., ANDENMATTEN E., BROQUEN P., GIRARDIN J.L., CORTES G., IRISARRI J., BESAIN E., SADZAWKA G., SEPULVEDA S., MASSARO S., MILLOT P., BOULEAU P., 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del norte de la Patagonia. INTA-ORSTOM S. C. Bariloche, Argentina, 39 pp.
- CONTICELLO L., GANDULLO R., BUSTAMANTE A., TARTAGLIA C., 1996. Fitosociología de los bosques caducifolios del norte del departamento Lacar y sur de Huiliches de la provincia de Neuquén (Argentina). Bosque 17 (2), 27-43.
- DANIEL P., HELMS U., BAKER F., 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México, 492 pp.
- DIMITRI J.M., 1972. La Región de los Bosques Andino-Patagónicos. Sinopsis General. Colección Científica del INTA. Argentina, 381 pp.
- DUCHAUFOR Ph., 1977. Atlas ecológico de los suelos del mundo. Toray Mason. Barcelona, 178 pp.
- FERNÁNDEZ M., GYENGE M., DALLA SALDA G., SCHLICHTER T., 2002. Silvopastoral systems in northwestern Patagonia. I: growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. Agroforestry Systems 55 (1): 47:55.
- FERRER J., IRISARRI J., MENDÍA M., 1990. Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. CFI-COPADE-Prov. NQN. Buenos Aires, Volumen 1, Tomo 2 y 3, 147 y 232 pp.
- GYENGE J., FERNÁNDEZ M., DALLA SALDA G., SCHLICHTER T., 2002. Silvopastoral systems in northwestern Patagonia II: water balance and water potential in a stand of *Pinus ponderosa* and native grassland. Agroforestry Systems 55 (1): 27-35.
- HUNTER M.L. Jr (ed.), 1999. Maintaining biodiversity in forest ecosystems. Cambridge University Press. U.K., 698 pp.
- JARVIS S., STOCKDALE E., SHEPERD A., POWLSON D., 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. Academic Press. New York. Adv. Agron. 57, 187-235.
- KONONOVA M. M., 1982. Materia orgánica del suelo. Oikos Tau. Barcelona. 365 pp.
- LEMENIH M., GIDYELEW T., TEKETAY D., 2004. Effects of canopy cover and understory environment of tree plantations on richness, density and size of colonizing woody species in southern Ethiopia. Forest Ecology and Management 194 (1-3): 1-10.
- MONTOYA J.M., MESON M.L., 1982. Intensidad y efectos de la influencia del arbolado de las dehesas sobre la fenología y composición específica del sotobosque. Anales del INIA Serie Forestal 5, 43-60.
- MOVIA C., OWER G., PÉREZ C., 1982. Estudio de la vegetación natural. Provincia del Neuquén. Ministerio de Economía y Hacienda. Subsecretaría de Recursos Naturales. 149 p.
- RAUNKJAER C., 1937. Plant life form. Clarendon. Oxford. U.K.
- RICKLEFS R.E., 1998. Invitación a la Ecología. La economía de la naturaleza. Ed. Panamericana. España, 692 pp.
- SAMLA, 1996. Sistema de apoyo metodológico para laboratorio de análisis de suelos y aguas. Direc. Prod. Agrícola, SAGP y A.
- SCHLICHTER T., LEÓN R.J., SORIANO A., 1980. Utilización de índices de diversidad en la evaluación de pastizales naturales en el centro oeste del Chubut. Apuntes Cátedra de Fisiología Vegetal y Fitogeografía. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- SCHLICHTER T., RUSCH V., CORLEY J., GYENGE J., 2004. Sustentabilidad ambiental de las plantaciones de coníferas introducidas en la región andino patagónica-agua, suelos, dinámica del fuego y plagas. Investigación forestal al servicio de la producción II, SAGPyA-PFD, 2: 94-99.
- SHOJI S., NANZYO M., DAHLGREN R., 1993. Volcanic ash soils. Genesis. Properties and utilization. Developments in Soil Science 21. Elsevier. Amsterdam, 288 pp.
- STATSOFT Inc., 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: http://www.statsoft.com.
- USDA, 1998. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service, Revisa-

- da por Schoeneberg P.J., Wyscocki D.A., Benham E.C., Broderson W. D. USDA. National Survey Center Lincoln NE. Traducción al español por investigadores del AICET-Instituto de Suelos y Evaluación de Tierras. INTA., 2000.
- WIENK C.L., HULL SIEG C., McPHERSON G.R., 2004. Evaluating the role of cutting treatments, fire and soil seed banks in an experimental framework in ponderosa pine forests of the Black Hills, South Dakota. *Forest Ecology and Management* 192 (2-3), 375-393.
- ZERBE S., 2002. Restoration of natural broad-leaved woodland in Central Europe on sites with coniferous forest plantations. *Forest Ecology and Management* 167 (1-3), 27-42.
- ZINKE J.P., 1962. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology* 43 (1): 130-133.